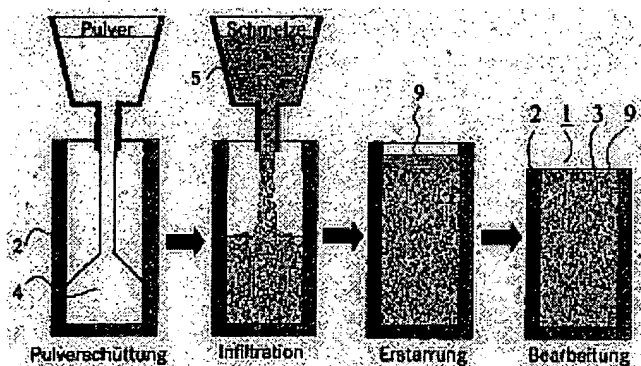


**Composite bolt used as a piston bolt consists of a metal sleeve filled with a composite material made from a light molten metal infiltrated with a powder charge**

**Patent number:** DE10122744  
**Publication date:** 2002-11-14  
**Inventor:** SCHOBERTH ACHIM [DE]  
**Applicant:** DAIMLER CHRYSLER AG [DE]  
**Classification:**  
- international: B22F3/115  
- european: C22C1/10D  
**Application number:** DE20011022744 20010510  
**Priority number(s):** DE20011022744 20010510

**Abstract of DE10122744**

Composite bolt consists of a metal sleeve filled with a composite material made from a light molten metal infiltrated with a powder charge. Preferred Features: The powder charge is made from SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C or Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub> particles having a uniform or different grain fraction. The sleeve is made from a case hardened steel of the 16MnCr5 type or a cold worked steel of the 1.2379 (X155CrVMo121) type or copper, brass, titanium or bronze. The light molten metal is made from an aluminum or magnesium alloy.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**



②1 Aktenzeichen: 101 22 744.2  
②2 Anmeldetag: 10. 5. 2001  
④3 Offenlegungstag: 14. 11. 2002

⑦1 Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Schoberth, Achim, 82024 Taufkirchen, DE

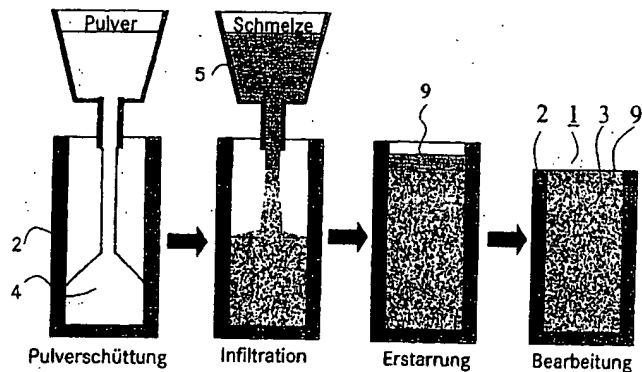
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 42 43 023 A1  
DE 41 23 677 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verbundbolzen

⑤7 Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines leichten und im Betrieb sicheren Verbundbolzens, der preiswert herstellbar ist und die Verwendung von bewährten Werkstoffpaarungen ermöglicht.  
Die erfindungsgemäße Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die Metallhülle (2) des Verbundbolzens (1) mit einem Verbundwerkstoff (3) gefüllt ist, der aus einer in der Metallhülle (2) erstarrten Leichtmetallschmelze (5) besteht, die eine Pulverschüttung (4) infiltriert hat.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Verbundbolzen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Bolzen zur lösbaren Verbindung von zwei Bauteilen finden in vielen technischen Bereichen Anwendung. Oft ist eine Reduktion des Bolzengewichts von Interesse; insbesondere bei beschleunigten Bolzen, wie z. B. bei den Kolbenbolzen in einem Verbrennungsmotor.

[0003] Bekannte Kolbenbolzen aus Stahl weisen eine relativ große Masse auf, für deren Beschleunigung im Motorbetrieb entsprechend viel Energie aufgewendet werden muss.

[0004] Kolbenbolzen aus Keramik, die ebenfalls dem Stand der Technik zuzuordnen sind, haben zwar eine geringere Masse als Stahlbolzen, können aber wegen der Sprödigkeit des Materials und der daraus resultierenden Bruchanfälligkeit erforderliche Sicherheitsansprüche nur schwierig erfüllen. Außerdem müssen bei der Verwendung von Keramikbolzen neue Werkstoffpaarungen für die Gelenkverbindungen zwischen Pleuel und Bolzen sowie zwischen Bolzen und Pleuel beherrscht werden, was einen erheblichen, zusätzlichen Entwicklungsaufwand erfordert.

[0005] Um die bei Keramikbolzen auftretenden Probleme bezüglich der Bauteilsicherheit und des Entwicklungsaufwands zu umgehen, sind deshalb in der Vergangenheit Kolbenbolzen vorgeschlagen worden, die einen Hybridaufbau aus einer Stahlhülle und einem Kern aus Keramik, Leichtmetallen oder Verbundwerkstoffen aufweisen. Die Stahlhülle ist bei diesen Systemen auf den Kern aufgeschumpft oder durch andere Arten von Presspassungen damit verbunden.

[0006] Eine Verwendung dieser Hybridbauteile scheitert an den hohen Herstellungskosten, die durch die erforderliche Einhaltung von sehr genauen Passungstoleranzen für die Presspassungen bedingt sind. Weiterhin besteht bei diesen Kolbenbolzen die Gefahr, dass im Motorbetrieb der Verbund zwischen Kern und Stahlhülle durch auftretende Vibrationen und durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten wieder gelöst wird.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines leichten und im Betrieb sicheren Verbundbolzens, der preiswert herstellbar ist und die Verwendung von bewährten Werkstoffpaarungen ermöglicht.

[0008] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 erfüllt. Patentanspruch 18 gibt Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Verbundbolzens an. Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0009] Die erfindungsgemäße Lösung beruht auf einem Leichtbau-Verbundbolzen im Hybridaufbau mit einer äußeren, dünnen Metallhülle und einer in die Metallhülle eingegossenen Verstärkung aus einem Verbundwerkstoff. Der Verbundwerkstoff wird in der Metallhülle aus einer Pulverschüttung hergestellt, in die unter Druck ein Leichtmetall schmelzflüssig infiltriert wird. In der Regel besteht die Pulverschüttung aus Keramikpulver und hat einen hohen Partikelgehalt. Das Keramikpulver kann aus einer einzigen Kornfraktion oder aus einem Gemisch mehrerer Kornfraktionen bestehen.

[0010] Die erfindungsgemäße Lösung führt bei reduzierter Durchbiegung und Ovalisierung sowie erhöhtem Traganteil des Verbundbolzens zu einer deutlichen Gewichtsreduktion, die gegenüber einem Stahlbolzen bis zu etwa 50% betragen kann. Durch die reduzierte Masse des Verbundbolzens wird beispielsweise bei einer Verwendung des Verbundbolzens als Pleuellbolzen in einem Verbrennungsmotor eine höhere Laufruhe des Motors erreicht und der Treibstoffverbrauch und die Schadstoffemission des Motors reduziert.

ziert.

[0011] Die Steifigkeit des erfindungsgemäßen Verbundbolzens läßt sich über den gewählten Partikelgehalt der Pulverschüttung, die Art des Pulvers, die Größe einer ggf. vorhandenen Kernbohrung sowie über die Wandstärke der Metallhülle auf gewünschte Werte anpassen.

[0012] Für die Herstellung des Verbundbolzens sind großserienfähige Gusstechniken einsetzbar, die eine endkonturnahe Herstellung ermöglichen. Dadurch ist eine kostengünstige Herstellung und Montage des erfindungsgemäßen Verbundbolzens möglich.

[0013] Da die bewährten Werkstoffpaarungen zu den verbindenden Bauteilen erhalten bleiben, muss kein zusätzlicher Entwicklungsaufwand für den Einsatz von neuen Werkstoffpaarungen aufgewendet werden. Gegenüber dem bekannten Kolbenbolzen mit einer aufgeschumpften Stahlhülle erübrigt sich durch den erfindungsgemäßen Einsatz der Gießtechnik die aufwendige Bearbeitung an der Innenseite der Metallhülle und am Kern hinsichtlich der Presspassungen.

[0014] Die Reaktion der Schmelze mit der Metallhülle kann eine innige Verbindung zwischen der Metallhülle und dem erstarrten Verbundwerkstoff schaffen, die unter Betriebsbedingungen eine hohe Standfestigkeit aufweist. Diese Verbindung kann bezüglich der Standfestigkeit durch eine Innenprofilierung der Metallhülle und durch eine Anpassung der Wärmeausdehnungskoeffizienten noch verbessert werden, wie es in den Weiterbildungen der Erfindung angegeben ist. Dazu kann der Wärmeausdehnungskoeffizient der Füllung über eine Änderung des Partikelgehaltes der Pulverschüttung und die Art der Keramik beeinflusst werden.

[0015] Hinsichtlich der Nachbehandlung ist es vorteilhaft, dass die Metallhülle den Verbundwerkstoff möglichst weit umschließt, da dieser nach dem Erstarren wegen seiner Verschleißbeständigkeit nur mit erhöhtem Aufwand bearbeitet werden kann. Alternativ kann das Infiltrieren des Leichtmetalls so ausgeführt werden, dass die beim Gießen offene Stirnfläche des Pleuellbolzens nach dem Erstarren des Verbundwerkstoffes nur aus Leichtmetall besteht.

[0016] Weitere Kostenvorteile lassen sich durch geeignete Fertigungsverfahren erzielen. So kann die Metallhülle z. B. mittels Tiefziehen hergestellt sein. Weitere mögliche Verfahren zur Herstellung der Metallhülle sind z. B. Fließpressen, Drückwalzen, Schmieden, Innenhochdruckumformen, die Verwendung von abgelängten Rohrstücken oder das Ausrehen von Vollmaterial.

[0017] Durch die Verwendung besonders ausgebildeter Metallhüllen können auch mehrere Verbundbolzen mit einem Gussvorgang hergestellt werden, indem das Metallrohr aus miteinander verbundenen Segmenten besteht, die nach dem Erstarren des Verbundwerkstoffes voneinander getrennt werden und jeweils einen Verbundbolzen bilden.

[0018] Grundsätzlich besteht bei ausreichender Steifigkeit die Möglichkeit anstelle eines Pleuellbolzens auch einen Pleuellbolzen mit ausgehöhltem Kern herzustellen, wodurch eine weitere Gewichtsreduktion möglich ist.

[0019] Anhand der Zeichnung werden nachstehend Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert.

[0020] Fig. 1 zeigt einen Verbundbolzen mit Metallhülle anhand einer schematischen Darstellung seines Herstellungsprozesses,

[0021] Fig. 2 zeigt einen Verbundbolzen mit nahezu geschlossener Metallhülle,

[0022] Fig. 3 zeigt ausschnittsweise eine gefüllte Metallhülle mit Innenprofilierung und

[0023] Fig. 4 zeigt ein alternatives Verfahren für die Herstellung von mehreren Verbundbolzen mit einem Guss.

[0024] Der in Fig. 1 gezeigte Verbundbolzen 1 besteht aus

einer Metallhülle 2, einem darin enthaltenen Verbundwerkstoff 3 und einem optional vorgesehenen Leichtmetallabschluss 9. Der Verbundwerkstoff 3 ist eine erstarrte Leichtmetallschmelze 5, die eine Pulverschüttung 4 infiltriert hat.

[0025] Die Herstellung des Verbundbolzens 1 erfolgt mit den in Fig. 1 dargestellten Herstellungsschritten von links nach rechts. Zunächst wird die Pulverschüttung 4 in die Metallhülle 2 gefüllt, anschließend die Leichtmetallschmelze 5 bis über das Niveau der Pulverschüttung 4 eingegossen, wobei der Leichtmetallabschluss 9 entsteht. Nach dem Erstarren der infiltrierten Leichtmetallschmelze 5 wird der Verbundbolzen 1 mit konventionellen spanabhebenden und/oder spanlosen Verfahren bearbeitet, um ihn auf seine Endmaße zu bringen.

[0026] Die Metallhülle 2 des in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiels ist rohrförmig ausgebildet, auf einer Stirnseite geschlossen und auf der anderen Stirnseite offen zum Einfüllen der Pulverschüttung 4 und der Leichtmetallschmelze 5.

[0027] Nachstehend werden für zwei ausgewählte Ausführungsbeispiele detaillierte Angaben zur Herstellung des Verbundbolzens angegeben und auf weitere, für die erfindungsgemäße Lösung geeignete alternative Ausführungsarten hingewiesen.

#### Beispiel 1

Metallhülle: Einsatzstahl 16MnCr5  
Herstellung Metallhülle: Tiefziehen; Hülle mit Boden  
Wandstärke Metallhülle: 3 mm  
Keramikpulver, Kornfraktion: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F500  
Pulverbefüllung Metallhülle: Einrütteln  
Aluminium-Schmelze, Temperatur: AlSi9Cu3, 750°C  
Infiltrationsverfahren, Druck: Druckguss, 1000 bar  
Oberflächenhärten: Induktionshärten  
Bearbeitung Verbundbolzen: auf Endmaß schleifen

#### Beispiel 2

Metallhülle: Kaltarbeitsstahl 1.2379 (X155CrVMo121)  
Herstellung Metallhülle: aus dem Vollen gedreht; Boden angeschweißt  
Wandstärke Metallhülle: 1 mm  
Keramikpulver, Kornfraktion: SiC, F500HD  
Pulverbefüllung Metallhülle: Einrütteln  
Aluminium-Schmelze, Temperatur: AlCu4MgAg0.5, 750°C  
Infiltrationsverfahren, Druck: Squeeze casting; 1000 bar  
Bearbeitung Verbundbolzen: auf Endmaß schleifen

[0028] Die Verwendung einer tiefgezogenen Metallhülle aus Einsatzstahl gemäß Beispiel 1 hat den Vorteil der Kostenersparnis bei der Herstellung der Metallhülle, wohingegen die Verwendung eines Kaltarbeitsstahls gemäß Beispiel 2 den Vorteil hat, dass die Härte der Metallhülle durch die Erwärmung beim Gießen der heißen Leichtmetallschmelze nur geringfügig abnimmt und deshalb auf ein abschließendes Oberflächenhärten des Metalls verzichtet werden kann.

[0029] Wenn bei der Verwendung von Metallhüllen aus Einsatzstahl ein nachträgliches Oberflächenhärten erforderlich ist, dann ist beim Härten darauf zu achten, dass der erstarrte Verbundwerkstoff dabei thermisch nicht zu hoch belastet wird. Ein geeignetes Verfahren zur Oberflächenhärtung der Metallhülle ist beispielsweise das Induktions- oder das Laserhärten.

[0030] Die Metallhülle 2 ist aus allen Einsatzstählen, aus lufthärtenden Stählen und aus anderen, von den vorgenannten Stahllarten abweichenden Stählen herstellbar. Die lufthärtenden Stähle haben den Vorteil, dass aus ihnen gefertigte Metallhüllen nach dem Gießen nicht nachträglich einer

Oberflächenhärtung unterzogen werden müssen.

[0031] Weiterhin sind für die Herstellung der Metallhülle 2 auch andere Metalle als Stahl verwendbar; wie z. B. Kupfer, Messing, Titan oder Bronze.

[0032] Die vorangehend genannten Werte für die Wandstärke der Metallhülle können von dem Fachmann bei Bedarf in weiten Grenzen von etwa 0.5% bis etwa 10% des Bolzendurchmessers geändert werden. Für die Wahl einer geeigneten Wandstärke ist die Optimierung der Gewichtsreduktion bei Einhaltung einer ausreichenden Formstabilität maßgeblich.

[0033] Als Herstellungsverfahren für die Metallhülle stehen dem Fachmann neben dem vorangehend genannten Tiefziehen und spanabhebenden Drehen aus einem vollen Rundmaterial weitere Verfahren, auf die schon einleitend hingewiesen ist, alternativ zur Verfügung. Eines der Auswahlkriterien für ein geeignetes Verfahren ist die kostengünstige und endkonturnahe Herstellung der Metallhülle mit Boden. Der Boden kann in die Hülle integriert oder separat angefügt sein.

[0034] Als Pulverschüttung 4 können Pulver mit einem hohem Partikelgehalt von etwa 50% bis 75% Verwendung finden, die einen Verbundwerkstoff 3 mit ausreichend hohem E-Modul bei möglichst geringer Dichte liefern und mit der verwendeten Leichtmetallschmelze 5 chemisch verträglich sind.

[0035] Im vorangehend angegebenen Beispiel 1 werden Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel mit einer Körnung des Typs F500 als Pulverschüttung 4 verwendet und die Leichtmetallschmelze 5 besteht aus einer Aluminium-Schmelze des Typs AlSi9Cu3. Im Beispiel 2 wird eine Pulverschüttung aus SiC-Partikeln mit einer Körnung des Typs F500HD und eine Aluminium-Schmelze des Typs AlCu4MgAg0.5 verwendet.

[0036] Alternativ dazu können andere Pulver – wie z. B. B4C- oder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>-Partikel – mit ausreichend hohem E-Modul, möglichst geringer Dichte und chemischer Verträglichkeit mit der jeweils verwendeten Leichtmetall-Schmelze eingesetzt werden.

[0037] Die Pulverschüttung 4 der genannten Beispiele 1 und 2 besteht jeweils aus einer mittleren Kornfraktion. Es können aber auch Pulverschüttungen 4 Verwendung finden, die aus einer gröberen oder feineren Kornfraktion oder aus einer Mischung von Fraktionen bestehen oder es können agglomerierte Pulver mit einer Mischung aus mehreren Kornfraktionen verwendet werden. Diese enthalten zwar einen Binder, der nach dem Befüllen der Metallhülle 2 ausgeheizt werden muss, sind aber u. a. wegen ihrer guten Rieselfähigkeit besser verarbeitbar, und lassen sich in die Metallhülle 2 einpressen, so daß eine Herstellung von Hohlbolzen leichter möglich ist.

[0038] Die chemische Zusammensetzung von Matrix und Pulver und der Partikelgehalt der Pulverschüttung 4 bestimmen die Steifigkeit des erstarrten Bolzenkerns. Ein höherer Partikelgehalt führt zu einer höheren Steifigkeit. Abhängig vom im Verbundwerkstoff verwendeten Matrixtyp lassen sich für die Infiltrierung von keramischen Pulvern bei einem hohen Partikelgehalt von bis zu 75% mit einer Leichtmetall-Legierung E-Modul-Werte bis über 210 GPa – das ist der E-Modul-Wert für Stahl – erreichen, wobei aber die Dichte des Verbundwerkstoffes 3 um 50% bis 70% gegenüber dem Wert von Stahl verringert ist.

[0039] Andererseits kann eine Anpassung des Wärmeausdehnungskoeffizienten des Verbundwerkstoffes an den Koeffizienten der Metallhülle einen geringeren Partikelgehalt erfordern, mit dem der in dem erstarrten Verbundwerkstoff 3 erzielbare E-Modul in der Regel kleiner als der E-Modul von Stahl ist. Eine daraus resultierende Verringerung der Bauteilsteifigkeit kann durch konstruktive Maßnahmen

kompensiert werden, z. B. dadurch, dass auf der Verbundbolzen als Vollbolzen ausgeführt wird.

[0040] Alternativ zu den vorangehend genannten Aluminium-Legierungen ist auch die Verwendung von anderen Aluminium-Legierungen und von geschmolzenen Magnesiumlegierungen, z. B. AZ91, zum Herstellen des erfindungsgemäßen Verbundwerkstoffes 3 geeignet.

[0041] Die Infiltration kann mit allen Gießverfahren erfolgen, die einen Druck von  $p > 5$  bar erzeugen. Damit sind neben der für die Kleinserienfertigung geeigneten Gasdruck-Infiltration auch großserientaugliche Gießverfahren, wie das sog. "Squeezecasting" oder Druckgußverfahren mit Drücken bis zu  $p > 1000$  bar anwendbar. Bei einem Infiltrieren mit höheren Drücken können ggf. stützende Maßnahmen zur Reduzierung von Geometrieänderungen der Metallhülle 2 erforderlich werden.

[0042] Das Infiltrieren kann abweichend zu dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel durch Anpassung der Gießparameter so ausgeführt sein, dass die offene Stirnfläche einen reinen Leichtmetallabschluß 9 aufweist, der im Gegensatz zu dem harten, erstarrten Verbundwerkstoff 3 mit herkömmlichen spanabhebenden Mitteln kostensparend bearbeitet werden kann. Der Vorteil hinsichtlich einer kostensparenden, konventionellen Nachbearbeitung gilt auch für die nach dem Erstarren endkonturnahe äußere Geometrie der Metallhülle 2.

[0043] Zur Einschränkung der Nachbearbeitung von erstarrtem Verbundwerkstoff 3 ist in einem anderen Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 die Metallhülle 2 nahezu geschlossen ausgeführt und nur eine kleine stirnseitige Öffnung 8 für das Infiltrieren vorgesehen.

[0044] In Fig. 3 ist ausschnittsweise die gefüllte Metallhülle 2 eines Verbundbolzens 1 mit einer Innenprofilierung 6 gezeigt. Mittels der Innenprofilierung kann eine bessere Verbindung zwischen der Metallhülle 2 und dem Verbundwerkstoff 3 erreicht werden. Die Innenprofilierung 6 kann abweichend von der gezeigten Rechtecknut auch z. B. wellenförmig, schraubenförmig mit Gegenlauf oder glatt aber hinterschnittig ausgeführt sein.

[0045] Fig. 4 zeigt die Herstellung von mehreren Verbundbolzen 1 in einer einzigen, segmentierten Metallhülle 2, die nach dem Erstarren des Verbundwerkstoffes 3 an den vorgeformten Verengungen 7 der Metallhülle 2 voneinander getrennt werden. Im gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Metallhülle 2 beispielsweise drei Verengungen 7 zur Herstellung von vier Verbundbolzen auf. Die Anzahl der Verengungen kann bei geeigneter Pulverschüttung 4 und Infiltrierung auch von dem in Fig. 4 gezeigten Beispiel abweichen. Das Einbringen der Pulverschüttung 4 und Infiltrieren in die Metallhülle 2 erfolgt über eine stirnseitige Öffnung 8.

#### Patentansprüche

1. Verbundbolzen, bestehend aus einer gefüllten Metallhülle, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Metallhülle (2) des Verbundbolzens (1) mit einem Verbundwerkstoff (3) gefüllt ist, der aus einer in der Metallhülle (2) erstarrten, Leichtmetallschmelze (5) besteht, die eine Pulverschüttung (4) infiltriert hat.
2. Verbundbolzen nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulverschüttung (4) aus einem keramischen Pulver besteht und einen hohen Partikelgehalt aufweist.
3. Verbundbolzen nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulverschüttung aus SiC- oder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- oder B<sub>4</sub>C- oder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>-Partikeln besteht, die eine einheitliche oder eine unterschiedliche Kornfraktion besitzen.

4. Verbundbolzen nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulverschüttung (4) aus einer agglomerierten Pulvermischung besteht, die einheitliche oder unterschiedliche Kornfraktionen enthält.

5. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Partikelgehalt der Pulverschüttung (4) auf die Erzielung einer hohen Bolzensteifigkeit ausgelegt ist und je nach verwendeter Partikelart etwa zwischen 50% und 75% beträgt.

6. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Art der Keramik und der Partikelgehalt der Pulverschüttung (4) auf die Erzielung eines auf die Stahlhülle (2) angepassten Wärmeausdehnungskoeffizienten des Verbundwerkstoffes (3) ausgelegt ist.

7. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Leichtmetallschmelze (5) aus einer Al-Legierung besteht.

8. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Leichtmetallschmelze (5) aus einer Mg-Legierung besteht.

9. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallhülle (2) aus Stahl besteht; insbesondere aus einem Einsatzstahl oder aus einem Kaltarbeitsstahl.

10. Verbundbolzen nach Patentanspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei einem Einsatzstahl um den Typ 16MnCr5 und bei einem Kaltarbeitsstahl um den Typ 1.2379 (X155CrVMo121) handelt.

11. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallhülle (2) aus Kupfer, Messing, Titan oder Bronze besteht.

12. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallhülle (2) eine Innenprofilierung (6) aufweist.

13. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbundwerkstoff (3) an der offenen Stirnseite der Metallhülle (2) einen gegossenen Leichtmetallabschluß (9) aufweist.

14. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallhülle (2) nahezu geschlossen ausgeführt ist und nur eine kleine stirnseitige Öffnung (8) zum Einbringen der Pulverschüttung (4) und zum Infiltrieren vorgesehen ist.

15. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallhülle (2) auf Bolzenlänge mehrere beabstandete Verengungen (7) zur Vereinzelung in einzelne Verbundbolzen nach dem Erstarren des Verbundwerkstoffes (3) und eine stirnseitige Öffnung (8) zum Einfüllen der Pulverschüttung (4) und Infiltrieren aufweist.

16. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbundbolzen (1) als Hohlbolzen ausgebildet ist.

17. Verbundbolzen nach einem der Patentansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem Verbundbolzen (1) um einen Kolbenbolzen für einen Verbrennungsmotor handelt.

18. Verfahren zur Herstellung eines Kolbenbolzens nach einem der vorangehenden Patentansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass zum Infiltrieren der Leichtmetallschmelze (5) ein "Squeezecasting"-Gussverfahren oder ein Druckgussverfahren oder ein Gasdruck-Infiltrationsverfahren eingesetzt wird.

19. Verfahren nach Patentanspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallhülle (2) als Rohling mittels eines Tiefzieh-, oder Fließpress-, oder Drückwalz-

oder Innenhochdruck-Umform- oder eines Schmiedeverfahrens hergestellt wird.

20. Verfahren nach Patentanspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallhülle (2) als Rohling aus abgelängten Rohrstücken oder durch Drehen aus einem vollen Rundmaterial hergestellt wird. 5

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

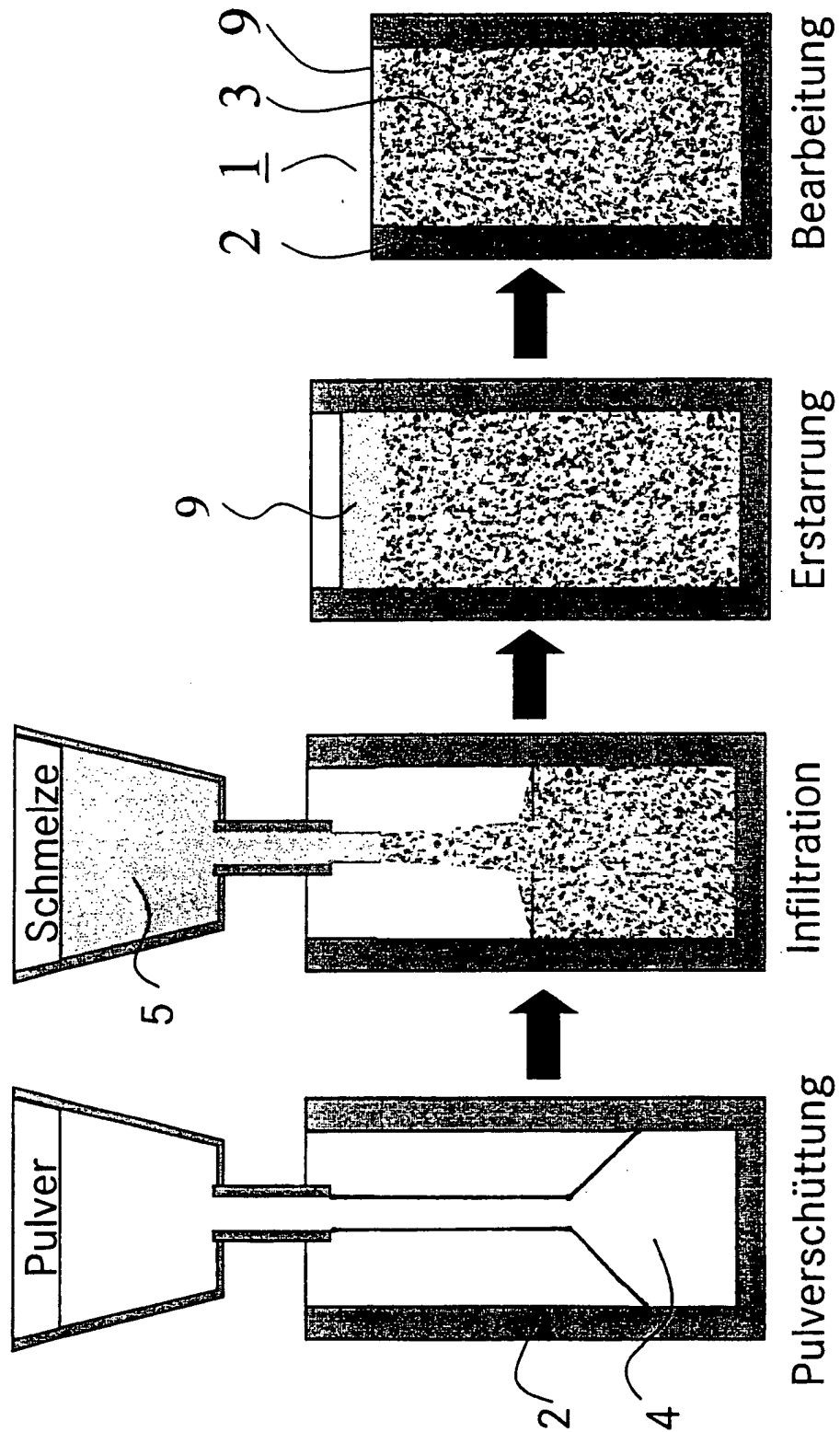
45

50

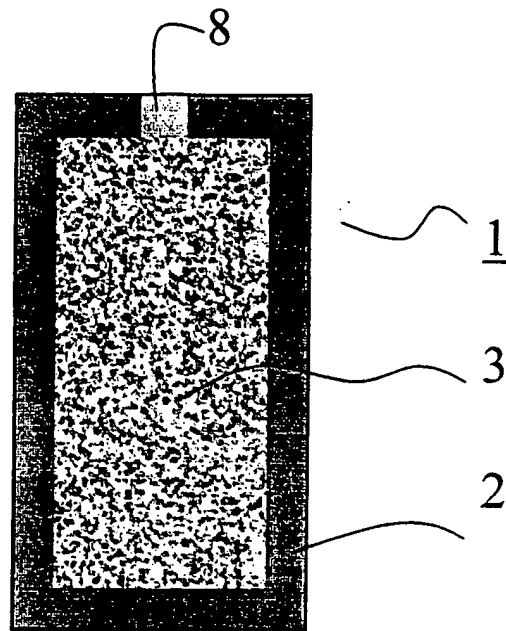
55

60

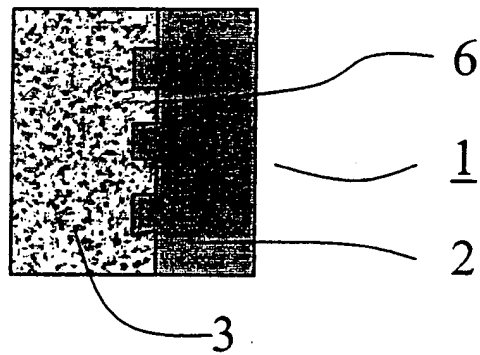
65



**Fig. 1**

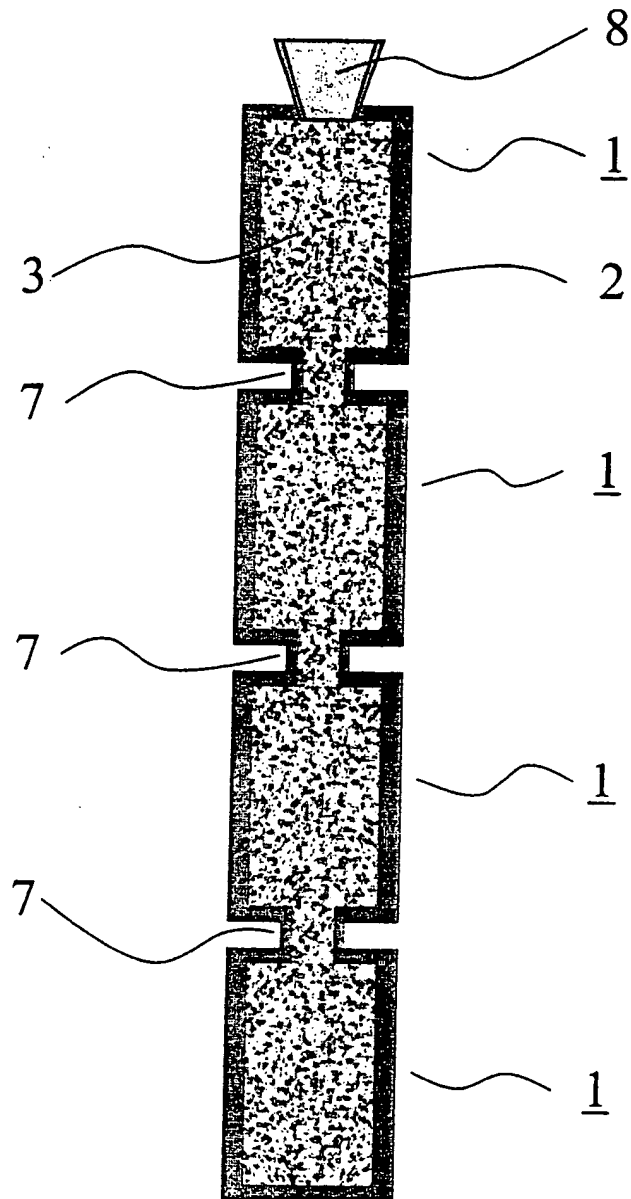


**Fig. 2**



**Fig. 3**





**Fig. 4**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

### **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**